



IDENTIFIKASI AKUIFER MENGGUNAKAN METODE GEOLISTRIK RESISTIVITAS DI DAERAH BEBANDEM, KARANG ASEM, BALI

Budy Santoso

Departemen Geofisika, FMIPA, Universitas Padjadjaran
Jalan Raya Bandung-Sumedang Km.21, Jatinangor 45363, Jawa Barat, Indonesia
e-mail : budi@geophys.unpad.ac.id
DOI : 10.24036/eksakta/vol19-iss01/101

ABSTRACT

Bungaya Kangin Village, Bebandem District, Karangasem Regency, Bali Province consists of paddy fields and settlements, required therefore a water source / aquifer that can meet all these needs. One of the Geophysical Methods that can identify the aquifer is the Geoelectric Method. Geoelectric method used in this research is Resistivity Method. Data acquisition using Vertical Electrical Sounding (VES) and Electrical Resistivity Tomography (ERT) Methods. VES method is a method of measurement to determine the variation of resistivity vertically at one point. Electrical Resistivity Tomography (ERT) method is a method of measuring resistivity on soil surface / rock by using many electrode (51 electrode), to obtain sub-surface resistivity variation laterally and vertically, to obtain sub-surface image. The equipment used for geoelectric measurements is Resistivity Meter of Naniura NRD 300 Hf which has been equipped with a switchbox to adjust the displacement of 51 electrodes. Based on the resistivity modeling results, the aquifers in the study area were found in rough sandstones with resistivity values : (49 - 100) Ohm.m.

Keywords: *aquifer, resistivity, ERT and VES*

PENDAHULUAN

Desa Bungaya Kangin, Kecamatan Bebandem, Kabupaten Karangasem terletak di sebelah Timur Pulau Bali pada koordinat UTM (344409, 9066096) m. Secara geologi regional daerah penelitian tersusun berdasarkan kelompok batuan sedimen berumur Quarter. Menurut (Purbo Hadiwidjodjo, dkk, 1998), stratigrafi daerah penelitian terdiri atas :

- Batuan Gunung Api Agung (Qhva), terdiri dari : Aglomerat, tuff, lava, lahar dan ignimbrit.
- Batuan Gunung Api Serraya (Qpvs), terdiri dari : breksi gunung api yang berselingan dengan lava.

Kebutuhan air di daerah Bebandem cukup tinggi yang digunakan untuk keperluan sehari-hari serta untuk mengairi lahan persawahan. Untuk memenuhi kebutuhan air yang cukup tinggi tersebut maka diperlukan lokasi akuifer yang memiliki sumber air tanah yang besar.

Akuifer adalah lapisan, formasi, atau kelompok formasi satuan geologi yang permeable baik yang terkonsolidasi (lempung, misalnya) maupun yang tidak terkonsolidasi (pasir) dengan kondisi jenuh air dan mempunyai suatu besaran konduktivitas hidraulik (K) sehingga dapat membawa air (atau air dapat diambil) dalam jumlah (kuantitas) yang ekonomis

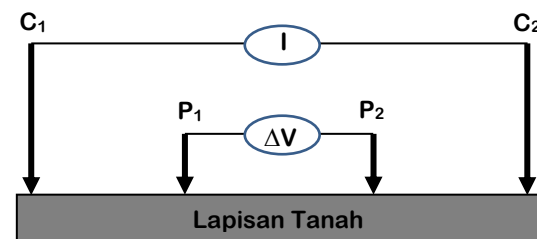
(Kodoatie, 1996). Air tanah adalah semua air yang terdapat pada akuifer di bawah permukaan tanah, termasuk mata air yang muncul di permukaan tanah. Air yang berhasil meresap ke bawah tanah akan terus bergerak ke bawah sampai mencapai lapisan tanah atau batuan yang jarak antar butirannya sangat kecil yang tidak memungkinkan bagi air untuk melewatinya. Air yang datang kemudian akan menambah volume air yang mengisi rongga-rongga antar butiran dan akan tersimpan disana.

Potensi air tanah yang terdapat di daerah Bebandem, Karangasem tergantung dari: imbuhan air tanah alamiah, kondisi hidrogeologi dan karakteristik hidraulik akuifer. Jumlah imbuhan air tanah tahunan merupakan hasil perkalian dari curah hujan rata-rata tahunan dengan koefisien imbuhan (Encona Eng. Inc et., al, 1988). Kondisi hidrogeologi adalah lapisan pengandung air (akuifer). Terdapat beberapa macam akuifer yaitu : akuifer terkekang, akuifer semi terkekang dan akuifer bebas. Karakteristik hidraulik yang dimaksud adalah transmisivitas, kelulusan hidraulik dan koefisien kandungan atau simpanan pada akuifer terkekang atau lepasan jenis (*specific yield*) pada akuifer bebas.

Akuifer memiliki kontras resistivitas terhadap tanah / batuan lainnya yang terdapat di daerah penelitian, seperti breksi, lava dan tufa. Kontras resistivitas akuifer dapat diketahui dengan menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas. Metode Geolistrik telah terbukti berhasil dalam kegiatan penelitian dangkal, seperti pendugaan air tanah dan pencairan mineral logam (Reynolds, 1998).

METODE PENELITIAN

Metode Geofisika yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode Geolistrik Resistivitas. Metode geolistrik memanfaatkan sifat penjalaran arus listrik yang diinjeksikan ke dalam tanah melalui dua buah elektroda arus (C_1 dan C_2), kemudian beda potensial yang terjadi diukur melalui dua buah elektroda potensial (P_1 dan P_2) yang ditancapkan dipermukaan tanah (Telford, et. al, 2004), skema pengukuran resistivitas ditunjukkan pada



Gambar 1. Skema susunan elektroda
Gambar 1.

Berdasarkan nilai arus listrik (I) yang diinjeksikan dan beda potensial (ΔV) yang ditimbulkan, besarnya resistivitas (ρ) dapat dihitung dengan persamaan rumus dibawah ini :

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

Parameter K disebut faktor geometri. Faktor geometri merupakan besaran koreksi terhadap posisi / letak susunan elektroda (arus dan potensial).

Resistivitas batuan (ρ) merupakan besaran fisika yang berhubungan dengan kemampuan suatu batuan dalam menghantarkan arus listrik. Lapisan batuan yang mempunyai nilai resistivitas rendah berarti mudah menghantarkan arus listrik, sebaliknya jika lapisan batuan mempunyai nilai resistivitas tinggi berarti sulit menghantarkan arus listrik.

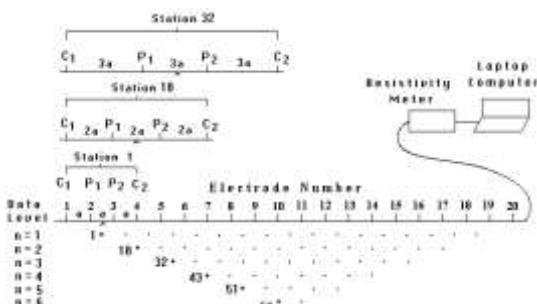
Metode Akuisisi Data

Peralatan yang digunakan dalam akuisisi data resistivitas yaitu Resistivity Meter

Naniura NRD 300Hf yang dilengkapi dengan switch box untuk mengatur perpindahan 51 elektroda.

Teknik akuisisi data menggunakan Metode *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) dan *Vertical Electrical Sounding* (VES). Metode *Vertical Electrical Sounding* (VES) adalah metode pengukuran untuk mengetahui variasi resistivitas secara vertikal pada satu titik. Metode *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) adalah Metode pengukuran resistivitas dipermukaan tanah / batuan dengan menggunakan banyak elektroda (51 elektroda), agar diperoleh variasi distribusi resistivitas bawah permukaan secara lateral dan vertikal, sehingga didapatkan citra bawah permukaan (Santoso,dkk. 2016). Akuisisi data ERT dilakukan sebanyak 3 lintasan dengan panjang masing-masing lintasan 500m, dengan posisi 2 lintasan memotong sungai dan 1 lintasan sejajar sungai. Akuisisi data VES dilakukan sebanyak 5 titik sounding, dengan posisi masing-masing titik sounding ditempatkan diujung (kiri dan kanan) lintasan ERT.

Konfigurasi elektroda yang digunakan dalam akuisisi data VES yaitu Konfigurasi Schlumberger, sedangkan konfigurasi elektroda yang digunakan akuisisi data ERT yaitu konfigurasi *Wenner*. Sistematika akuisisi data resistivitas dengan menggunakan Metode ERT konfigurasi *Wenner* ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema pengukuran ERT dengan konfigurasi Wenner (Loke, M.H, 2004)

Pada Gambar 2, C₁ dan C₂ adalah pasangan elektroda arus, P₁ dan P₂ adalah pasangan elektroda potensial dan a adalah spasi antar elektroda dengan jarak yang sama. Faktor geometri (K) konfigurasi *Wenner* dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini :

$$K = 2\pi a \quad (2)$$

Nilai resistivitasnya dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini :

$$\rho_s = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (3)$$

dengan ρ_s : resistivitas semu (Ohm.m), ΔV : beda potensial (V), I : arus yang diinjeksikan (A), dan a : jarak antara elektroda (m).

Metode Analisis Data

Data resistivitas yang diperoleh dari hasil pengukuran ERT dan VES masih merupakan nilai resistivitas semu, untuk memperoleh nilai resistivitas sebenarnya, maka dilakukan pengolahan data menggunakan perangkat lunak inversi Res2Dinv (Loke,M.H., 2004).

Data resistivitas selanjutnya di analisis berdasarkan nilai resistivitas batuan yang telah dikorelasikan dengan data geologi daerah penelitian. Data yang dianalisis yaitu data resistivitas batuan yang mengindikasikan lapisan pembawa air / akuifer.

Beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam melakukan analisis dan interpretasi, yaitu : penampang ERT hasil inversi harus sesuai dengan model geologi daerah penelitian, nilai RMS error harus kecil < 10%, jika hasil pemodelan *RMS error* nya sudah kecil tetapi model geologinya tidak sesuai, maka harus dilakukan pemodelan ulang dengan metode inversi lain yang terdapat pada *software* tersebut, dan terakhir menentukan nilai resistivitas batuan yang telah dikorelasi dengan data

geologi. Resistivitas batuan hasil pengukuran ERT dan VES yang telah

No	Resistivitas (Ohm.m)	Litologi	Perkiraan Hidrogeologi
1	1001 - 2350	Brekxi padu	
2	191 - 1000	Brekxi	
3	100 - 190	Batupasir halus	akuifer
4	61 - 100	Batupasir kasar	Akuifer
5	30 - 60	Tufa halus	
6	10 - 29	Tufa kasar	

dikorelasi dengan data geologi daerah penelitian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Resistivitas Batuan Daerah Penelitian

Nilai resistivitas batuan pada Tabel 1 digunakan sebagai referensi ketika melakukan interpretasi pada penampang resistivitas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

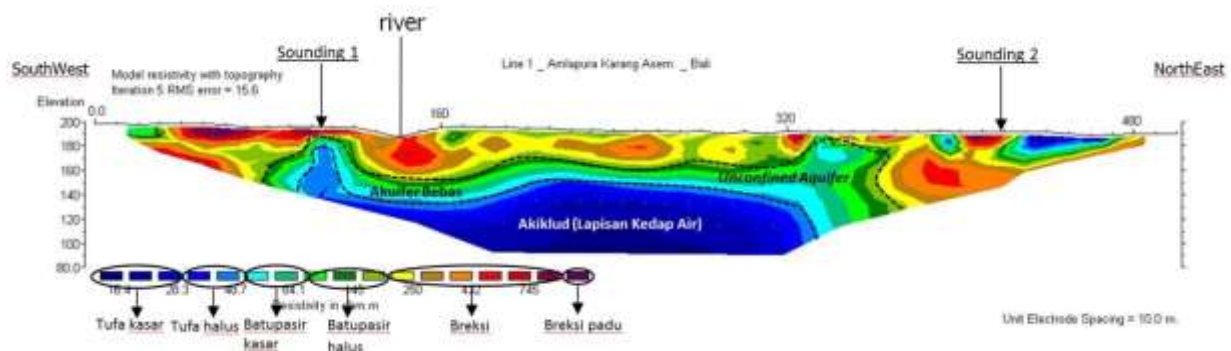
Hasil pemodelan resistivitas dengan menggunakan perangkat lunak inversi diperoleh penampang resistivitas ERT sebanyak 3 lintasan dan penampang resistivitas VES sebanyak 5 titik sounding. Penampang resistivitas menggambarkan kondisi geologi bawah permukaan yang menginformasikan jenis batuan serta lapisan akuifer.

Pada Gambar 3 menampilkan penampang resistivitas lintasan 1 yang memotong sungai.

Pada penampang lintasan 1 diperoleh beberapa lapisan batuan, terdiri dari :

- Lapisan I, dengan nilai resistivitas (191 – 1000) Ohm.m, kedalaman bervariasi : di bagian tengah lintasan kedalaman : (0 – 30) m, sedangkan di bagian tepi penampang (Barat Daya dan Timur Laut) kedalamannya sekitar 40m, diduga sebagai brekxi.
- Lapisan II, dengan nilai resistivitas (85–190) Ohm.m, kedalaman bervariasi : (30 – 40) m dan (23 – 35)m di sebelah Barat Daya, serta kedalaman (15 – 65) m di sebelah Timur Laut, diduga sebagai batupasir halus.
- Lapisan III, dengan nilai resistivitas (49 – 84) Ohm.m, kedalaman (40 – 49) m di bagian tengah lintasan dan kedalaman (12 - 67) m di sebelah Timur Laut, diduga sebagai Batupasir kasar.
- Lapisan IV, dengan nilai resistivitas (30 – 48) Ohm.m, kedalaman : (49 – 65) m, diduga sebagai tufa halus.
- Lapisan V, dengan nilai resistivitas (16 – 29) Ohm.m, kedalaman rata-rata : (65 – 101)m, diduga sebagai tufa kasar.

Indikasi akuifer lintasan 1 terdapat pada lapisan II (batu pasir halus) dan lapisan III (batupasir kasar). Akuifer pada penampang lintasan 1 termasuk ke dalam jenis akuifer bebas. Akuifer Bebas (*Unconfined Aquifer*) yaitu lapisan lolos air yang hanya sebagian terisi oleh air dan berada di atas lapisan kedap air (akiklud). Permukaan tanah pada



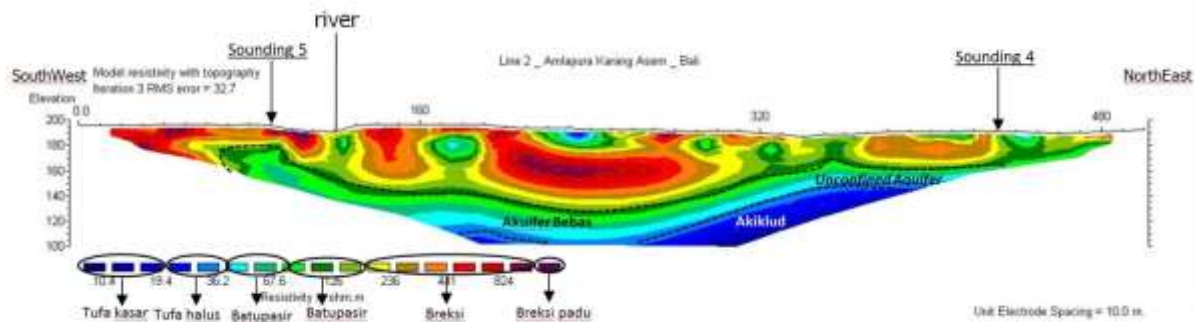
Gambar 3. Penampang Resistivitas (ERT) Lintasan 1

akuifer ini disebut dengan *water table* (*preatik level*), yaitu permukaan air yang mempunyai tekanan hidrostatik sama dengan atmosfer.

Pada Gambar 4 menampilkan penampang resistivitas lintasan 2. Pada penampang resistivitas lintasan 2 diperoleh beberapa lapisan batuan,

sebelah Timur Laut kedalaman ≥ 65 m, diduga sebagai tufa halus.

Lapisan pembawa air (akuifer) pada penampang resistivitas lintasan 2, diduga terdapat pada batupasir halus dan batupasir kasar, sedangkan akuifernya termasuk ke dalam jenis akuifer bebas. Akuifer bebas



Gambar 4. Penampang Resistivitas (ERT) Lintasan 2

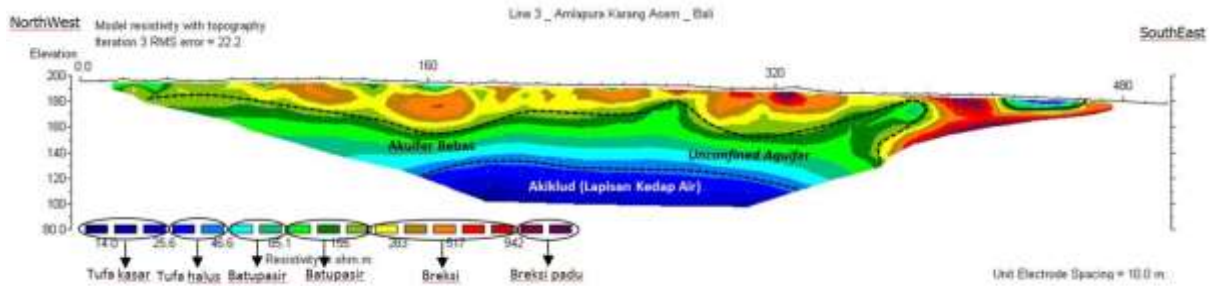
terdiri dari :

- Lapisan I, dengan nilai resistivitas (1100 – 2350) Ohm.m, kedalaman : (0 – 2)m dan (0 – 5)m terdapat di sebelah Barat Daya, diduga sebagai breksi padu.
- Lapisan II, dengan nilai resistivitas (236 – 900) Ohm.m terdapat pada bagian tengah lintasan ke arah Barat Daya, kedalaman bervariasi : (2 – 30)m, (20 – 55)m dan di sebelah Timurlaut dengan kedalaman : (0 -23)m, diduga sebagai breksi.
- Lapisan III, dengan nilai resistivitas (100 – 150) Ohm.m, kedalaman bervariasi : (10 – 40)m, (55 – 75)m, (0 – 20)m, diduga sebagai batupasir halus.
- Lapisan IV, dengan nilai resistivitas 67,6 Ohm.m, kedalaman di bagian tengah lintasan (75 – 93)m, dan kedalaman di sebelah Timur laut (55 – 65)m, diduga sebagai batupasir kasar.
- Lapisan V, dengan nilai resistivitas 36,2 Ohm.m, kedalaman di bagian tengah lintasan : (93 – 101)m dan di

(dangkal) dengan pola melensa pada penampang lintasan 2 terdapat pada batupasir halus dengan kedalaman 10 m, sedangkan akuifer bebas (dalam) dengan pola membaji terdapat pada batupasir halus / batupasir kasar dengan kedalaman 55 m. Batupasir memiliki porositas yang cukup baik yang dapat menyimpan air dalam jumlah banyak sehingga dapat berfungsi sebagai batuan akuifer.

Pada Gambar 5 menampilkan penampang resistivitas lintasan 3 (sejajar aliran sungai). Pada penampang lintasan 3 diperoleh beberapa lapisan batuan, terdiri dari :

- Lapisan I, dengan nilai resistivitas ≥ 1100 Ohm.m, kedalaman : (0 – 10)m dan (0 – 40)m, terdapat di sebelah Tenggara, diduga sebagai breksi padu.
- Lapisan II, dengan nilai resistivitas (283 – 942) Ohm.m terdapat di sebelah Tenggara, kedalaman bervariasi : (0 – 8)m dan (0 – 20)m diduga sebagai breksi.



Gambar 5. Penampang Resistivitas (ERT) Lintasan 3

- Lapisan III, dengan nilai resistivitas 155 Ohm.m, kedalaman : (8 – 29)m terdapat di bagian tengah lintasan, kedalaman (0 – 40)m di sebelah Barat Laut, diduga sebagai batupasir halus.
- Lapisan IV, dengan nilai resistivitas 85,1 Ohm.m, kedalaman bervariasi : (40 – 50) m (29 – 42) m, diduga sebagai Batupasir kasar.
- Lapisan V, dengan nilai resistivitas 46,6 Ohm.m, kedalaman : (50 – 72) m (Barat Laut) dan (42 – 101) m (Tenggara), diduga sebagai Tufa halus.
- Lapisan VI, dengan nilai resistivitas (14 – 25,6) Ohm.m, kedalaman : (72 – 101) m, diduga sebagai Tufa kasar.

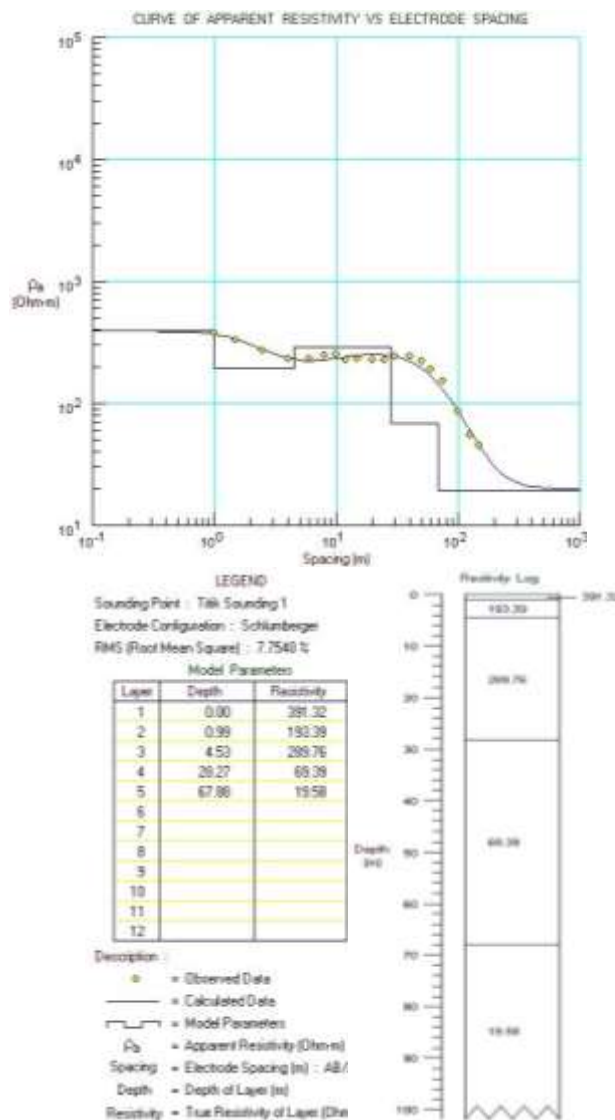
Akuifer pada penampang resistivitas lintasan 3 terdapat pada batupasir halus /

batupasir kasar. Jenis akuifernya masih termasuk ke dalam akuifer bebas.

Karakteristik akuifer bebas pada lintasan 3 dapat diketahui dari :

- Lapisan paling atas (penutup) adalah breksi, bersifat permeable (meloloskan air).
- Lapisan paling bawah merupakan Tufa, bersifat impermeable / akiklud (sulit / tidak bisa meloloskan air).

Pada Gambar 6 ditunjukkan Penampang Resistivity-1D (VES) titik 1, posisinya terdapat pada elektroda 12 lintasan 1 (ERT). Pengukuran VES titik 1 bertujuan untuk mengetahui variasi resistivitas secara vertikal (kedalaman sangat dalam) yang tidak terdeteksi ketika dilakukan pengukuran resistivitas-2D (ERT) karena posisinya diujung lintasan.



Gambar 6. Penampang Resistivitas (VES) Titik 1

Lapisan batuan pada titik sounding 1 terdapat 5 lapisan batuan, terdiri dari :

- Lapisan I, dengan nilai resistivitas 391,32 Ohm.m, kedalaman : (0 – 0,99)m, diduga sebagai breksi padu.
- Lapisan II, dengan nilai resistivitas 193,39 Ohm.m, kedalaman : (0,99 – 4,53)m, diduga sebagai breksi.
- Lapisan III, dengan nilai resistivitas 289,76 Ohm.m, kedalaman : (4,53 – 28,37)m, diduga sebagai breksi.

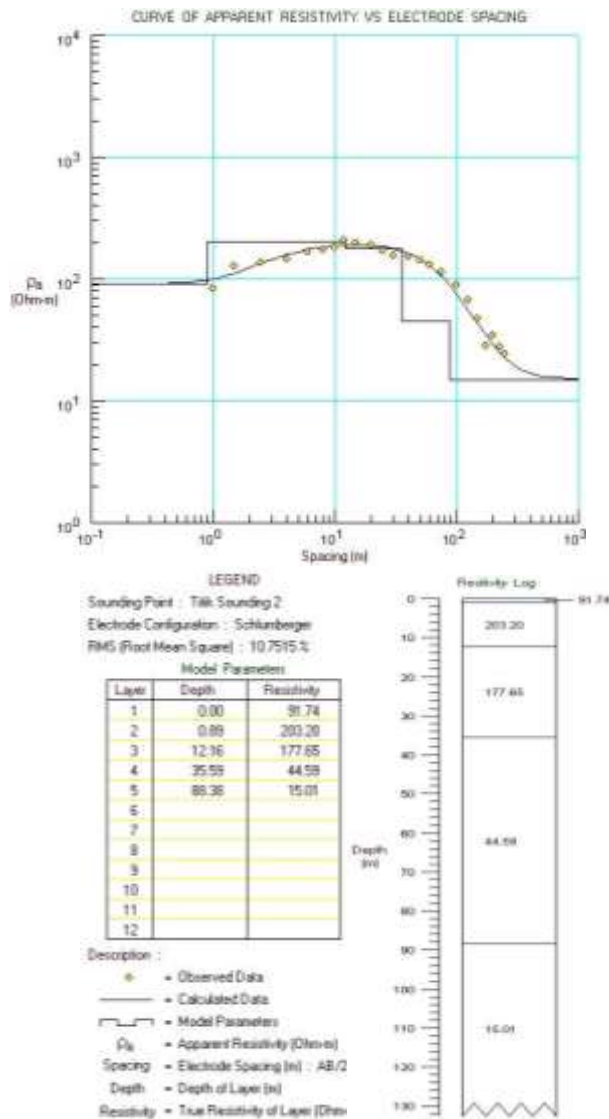
- Lapisan IV, dengan nilai resistivitas 69 Ohm.m, kedalaman : (28,37 – 67,88)m, diduga sebagai batupasir kasar.
- Lapisan V, dengan nilai resistivitas 19,58 Ohm.m, kedalaman lebih dari 67,88m, diduga sebagai tufa.

Indikasi akuifer terdapat pada lapisan batupasir kasar dengan kedalaman (28 – 67) m.

Pada Gambar 7 ditunjukkan Penampang Resistivity 1D (VES) titik 2. posisinya terdapat pada elektroda 43 lintasan 1 (ERT). Tujuan pengukuran VES titik 2 untuk mengetahui akuifer pada lapisan yang dalam yang tidak terukur ketika pengukuran resistivitas-2D (ERT).

Pada penampang titik sounding 2 terdapat 5 lapisan batuan, terdiri dari :

- Lapisan I, dengan nilai resistivitas 91,74 Ohm.m, kedalaman : (0 – 0,89)m, diduga sebagai batupasir kasar.
- Lapisan II, dengan nilai resistivitas 203,20 Ohm.m, kedalaman : (0,89 – 12,16)m, diduga sebagai breksi.



Gambar 7. Penampang Resistivitas (VES) Titik 2

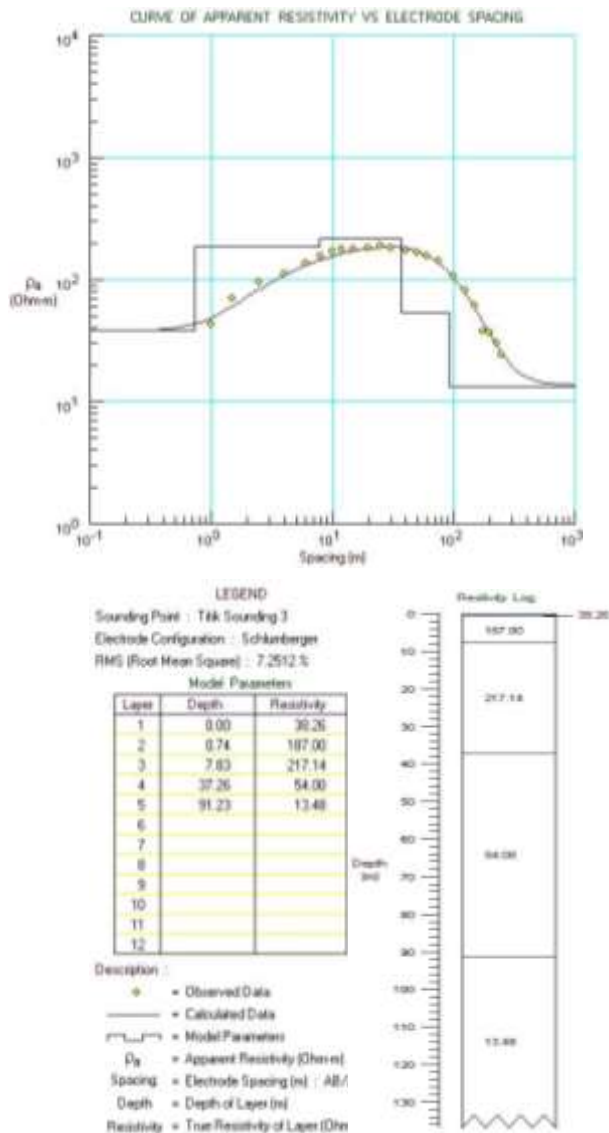
- Lapisan III, dengan nilai resistivitas 177,65 Ohm.m, kedalaman : (12,16 – 35,59)m, diduga sebagai batupasir halus.
- Lapisan IV dengan nilai resistivitas 44,59 Ohm.m, kedalaman : (35,59 – 88,38)m, diduga sebagai tufa halus.
- Lapisan V, dengan nilai resistivitas 15,01 Ohm.m, kedalaman lebih dari 88,38m, diduga sebagai tufa kasar.

Pada Gambar 8 menampilkan Penampang Resistivity 1D (VES) titik 3. posisinya terdapat disamping lintasan 3 (ERT).

Pada penampang titik sounding 3 terdapat 5 lapisan batuan, terdiri dari :

- Lapisan I, dengan nilai resistivitas 38,26 Ohm.m, kedalaman : (0 – 0,74) m, diduga sebagai tufa halus.
- Lapisan II, dengan nilai resistivitas 187,00 Ohm.m, kedalaman : (0,74 – 7,83) m, diduga sebagai batupasir halus.
- Lapisan III, dengan nilai resistivitas 217,14 Ohm.m, kedalaman : (7,83 – 37,26) m, diduga sebagai breksi.
- Lapisan IV, dengan nilai resistivitas 54,00 Ohm.m, kedalaman : (37,26 – 91,23) m, diduga sebagai tufa halus.

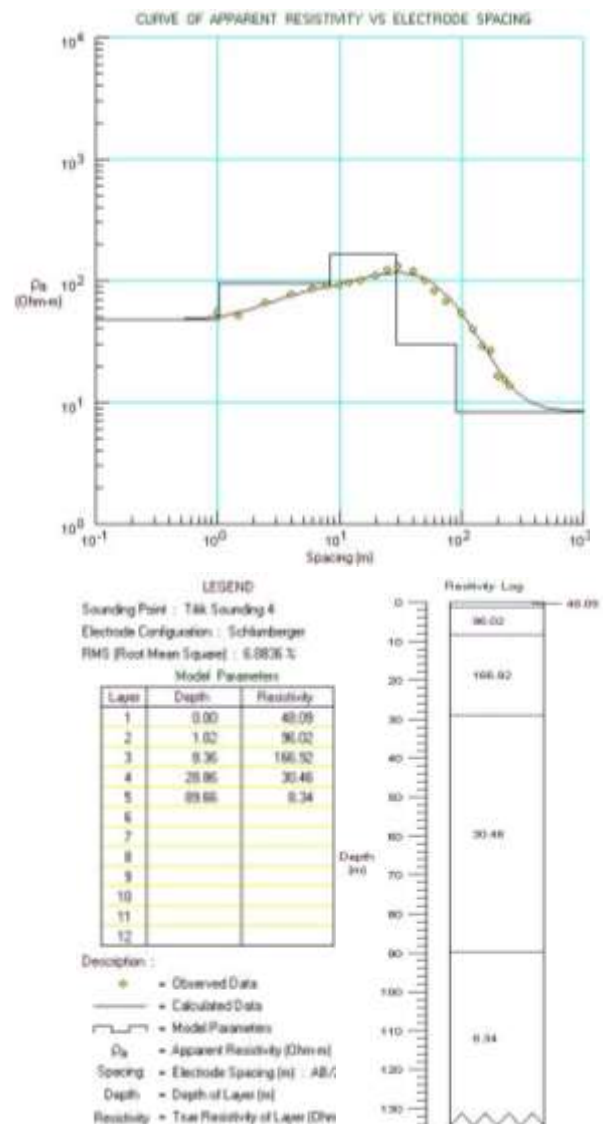
- Lapisan V, dengan nilai resistivitas 13,48 Ohm.m, kedalaman lebih dari 91,23m, diduga sebagai tufa kasar.



Gambar 8. Penampang Resistivitas (VES) Titik 3

Indikasi akuifer terdapat pada lapisan dangkal, yaitu pada lapisan batupasir halus dengan kedalaman 8 m. Akuifer pada lapisan ini merupakan air permukaan (*water table*).

Pada Gambar 9 menampilkan penampang resistivitas (VES) titik 4.



Gambar 9. Penampang Resistivitas (VES) Titik 4

Pada penampang titik sounding 4 terdapat 5 lapisan batuan, terdiri dari :

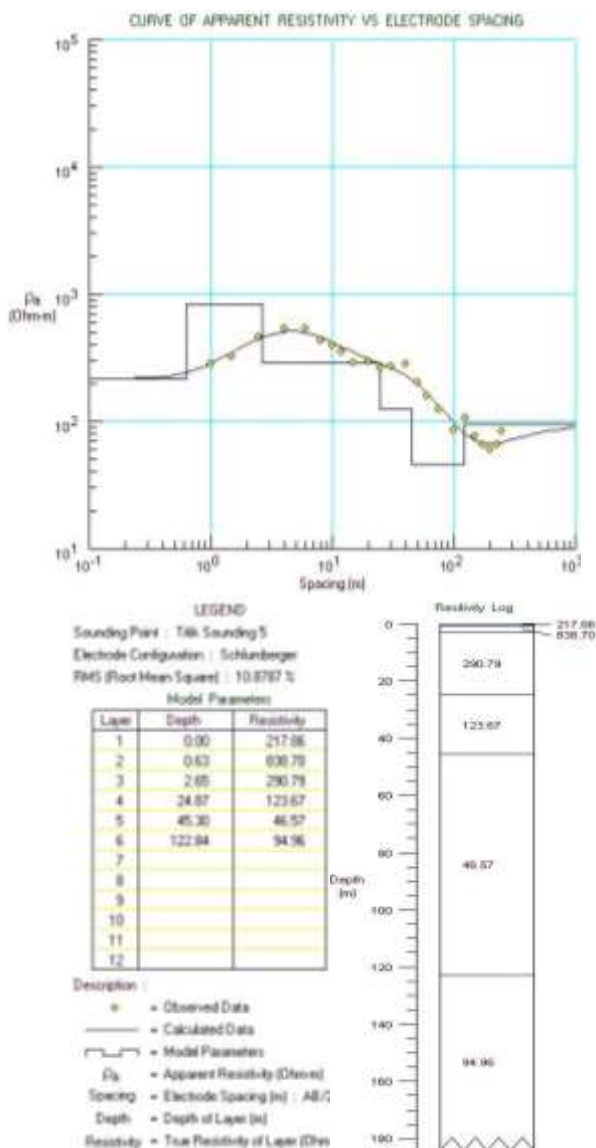
- Lapisan I, dengan nilai resistivitas 48,09 Ohm.m, kedalaman : (0 – 1,02)m, diduga sebagai tufa halus.
- Lapisan II, dengan nilai resistivitas 96,02 Ohm.m, kedalaman : (1,02 – 8,36)m, diduga sebagai batupasir kasar.
- Lapisan III, dengan nilai resistivitas 166,92 Ohm.m, kedalaman : (8,36 – 28,86) m, diduga sebagai batupasir halus.

- Lapisan IV, dengan nilai resistivitas 30,46 Ohm.m, kedalaman : (28,86 – 89,66)m, diduga sebagai tufa halus.
- Lapisan V, dengan nilai resistivitas 8,34 Ohm.m, kedalaman lebih dari 89,66m diduga sebagai tufa kasar.

Pola penampang resistivitas titik 4 hampir sama dengan penampang VES titik 3. Indikasi akuifer terdapat pada batupasir kasar (kedalaman 8,36 m) dan batupasir halus (kedalaman 28,86 m).

Pada Gambar 10 menampilkan penampang resistivitas (VES) pada titik 5. Pada penampang titik sounding 5 terdapat 5 lapisan batuan, terdiri dari :

- Lapisan I, dengan nilai resistivitas 838,70 Ohm.m, kedalaman : (0 – 2,65)m, diduga sebagai breksi padu.



Gambar 10. Penampang Resistivitas (VES) Titik 5

- Lapisan II, dengan nilai resistivitas 290,79 Ohm.m, kedalaman : (2,65 – 24,87)m, diduga sebagai breksi.
- Lapisan III, dengan nilai resistivitas 123,67 Ohm.m, kedalaman : (24,87 – 45,30)m, diduga sebagai batupasir halus.
- Lapisan IV, dengan nilai resistivitas 46,57 Ohm.m, kedalaman : (45,30 – 122,84)m, diduga sebagai tufa halus.
- Lapisan V, dengan nilai resistivitas 94,96 Ohm.m, kedalaman lebih dari 122,84m.

122,84m diduga sebagai batupasir kasar.

Indikasi akuifer terdapat pada batupasir kasar dengan kedalaman : lebih dari 122 m. Akuifer pada lapisan ini merupakan akuifer bebas karena pada lapisan atas batumannya bersifat porus sedangkan pada lapisan dibawahnya kedap air (akiklud).

KESIMPULAN

1. Berdasarkan penampang resistivitas-2D, aliran air pada akuifer dengan nilai resistivitas : (61 – 100) Ohm.m mengalir dari hulu (*upstream*) ke hilir (*downstream*). Dengan pola seperti itu maka secara umum akuifer di daerah tersebut cukup prospek.
2. Zona prospek akuifer yang paling baik terdapat pada lintasan 3 dengan nilai resistivitas 85,1 Ohm.m. Pada lintasan 3 tersebut zona akuifernya baik karena terdapat lapisan penutup (breksi / breksi padu) yang menutupi akuifer sepanjang 30 m, dan di bawahnya terdapat batupasir kasar sebagai akuifernya dan dibawahnya terdapat lapisan kedap air (akiklud).
3. Secara umum jenis akuifer yang terdapat di daerah penelitian adalah akuifer bebas.

DAFTAR PUSTAKA

- Encona Eng. Inc. dan Mac Donald & Partner Asia. (1988). **East Java Provincial Water Resources Master Plan Study for Water Supply**. Ministry of Public Works, Jakarta.
- Kodoatie, RJ., **Pengantar Hidrogeologi**. Andi Offset, Yogyakarta ((1996), p. 82

Loke, M.H. (2004). **Rapid 2D Resistivity and IP Inversion Using the Least-Squares method**. Geotomo Software, Malaysia : 11-36.

MM.Purbo Hadiwidjodjo, H.Samodra dan T.C.Amin. (1998). **Peta Geologi Lembar Bali, Nusatenggara**. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

Reynolds, J.M. (1998). **An Introduction to Applied and Environmental Geophysics**. New York : John Willey and Sons.

Santoso, B., Wijatmoko, B., Supriyana, E., dan Harja, A. (2016). **Penentuan Resistivitas Batubara Menggunakan Metode Electrical Resistivity Tomography dan Vertical Electrical Sounding**. Jurnal Material dan Energi Indonesia., v. 6., no. 1, : 8 – 14.

Telford, W.M., Geldart, L.P., and Sheriff, R.E. (2004). **Applied Geophysics 2 nd Edition**. Cambridge University Press, Cambridge : p.290-291.